

3. Конструктивно объединить два метода очистки воздушной среды: ультрафиолетовый и термический.
4. Использовать специальное воздухозаборное приспособление, которое даст возможность обработать воздух из любых зараженных зон здания
5. Разработать номенклатурный ряд установок с различной энергетической мощностью, спектральному составу излучения и количеству обрабатываемого воздуха.

Заключение

Обеззараживание воздуха в системах вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления, использующих режим рециркуляции, является необходимым требованием соблюдения условий санитарно-эпидемиологической безопасности в помещениях промышленных и общественных зданий с большим скоплением людей при длительном пребывании.

Список использованных источников:

1. ТКП 45-3.02-209-2010 (02250) Административные и бытовые здания. Строительные нормы проектирования. / Минск, 2011. – 33 с.
2. ТКП 45-3.02-189-2010 (02250) Общественные здания и помещения административного назначения. Правила проектирования. / Минск, 2011 – 21с.
3. ТКП 45-3.02-325-2018 Общественные здания. Строительные нормы проектирования. / Минск, 2018. – 60с.
4. Предприятие МаксАЭРО. Секции бактерицидной обработки воздуха SBOW. ТУ 4863-019-87654919-2009 Паспорт, инструкция по монтажу.
5. Руководство Р 3.5.1904–04. Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях.
6. Борисоглебская А.П. Современные методы обеззараживания воздуха в помещениях. – М.: АВОК №2, 2009.
7. <http://www.findpatent.ru/patent/235/2355427.html>. Дата доступа: 20.03.2019г. Время доступа: 14.45.

Андреюк С.В., Житенёв Б.Н.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НИТРАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКИМ ПЛАНИРОВАНИЕМ

Брестский государственный технический университет, кафедра водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, ст. преподаватель кафедры ВВиОВР, к.т.н., доцент, профессор кафедры ВВиОВР.

Введение. Многофакторный эксперимент широко используется в современной научной деятельности и является эффективным средством обработки и планирования экспериментальных исследований [1]. Планированием многофакторного эксперимента называется процедура выбора числа опытов и условий их проведения, необходимых для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Независимые, переменные величины влияющие на процесс принято называть факторами. Так в процессах очистки воды факторами могут быть: доза коагулянта, доза флокулянта, продолжительность процесса, скорость фильтрации, величина

отношения высоты загрузки фильтрационной колонки к ее диаметру, температура и т.п. Основное требование к факторам — управляемость. Под управляемостью понимается установление нужного значения фактора (уровня) и поддержание его в течение всего опыта. Кроме требования к управляемости выбранных факторов, есть еще несколько требований: для любой пары факторов должно выполняться условие совместимости; факторы должны быть независимыми; быть однозначными; непосредственно воздействовать на параметр оптимизации.

Протекание процесса количественно характеризуется одной или несколькими величинами, например, эффект очистки воды, остаточное содержание примеси (например, нитратов) и т.п. Такие величины называют функциями отклика. Математические методы оптимального планирования экспериментов позволяют получить математическую модель процесса даже при отсутствии данных о его механизме. Математические модели, полученные с помощью методов планирования экспериментов принято называть экспериментально-статистическими [2, 4]. При применении статистических методов планирования эксперимента математическое описание представляется в виде полинома:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где Y — функция отклика (величина, качественно характеризующая протекание процесса),

x_1, x_2, x_3 — влияющие факторы (аргументы) исследуемого процесса.

Ценность математического описания заключается в том, что оно дает информацию:

- о закономерностях влияния отдельных факторов на функцию отклика;
- позволяет количественно определить значение функции отклика при заданных значениях факторов;
- может служить основой для оптимизации процесса.

Многофакторный процесс ионообменной очистки. Поскольку процесс ионообменной очистки является многофакторным, с целью сокращения затрат времени и материальных средств на выполнение исследований был применен математический метод оптимального планирования эксперимента, позволивший получить математическую модель процессов ионообменной очистки подземных вод от нитратов [3]. Процесс нахождения математической модели включал в себя: планирование эксперимента, проведение эксперимента на объекте исследований; проверка воспроизводимости эксперимента; получение математической модели объекта с проверкой статистической значимости выборочных коэффициентов регрессии; проверка адекватности математического описания.

Исследования механизма очистки подземных вод от азотистых соединений методом ионного обмена выполнены на экспериментальной установке, представляющей собой модель ионообменного фильтра — фильтрационную колонку, загруженную ионообменной смолой марки «Purolite NRW-600(OH)» — сильноосновным анионитом. В качестве имитата загрязненной воды использовали водопроводную воду с добавкой нитратов в количестве $90 \div 100$ мг/дм³ (20 мг/дм³ по нитратному азоту), что соответствует концентрации, в два раза превышающей предельно допустимую. Целью экспериментальных исследований являлось изучение влияния на эффективность процесса очистки воды от нитратов основных факторов при работе ионообменной колонки:

- скорость фильтрации воды V , м/ч;
- величина отношения высоты загрузки фильтрационной колонки к ее диаметру H/d ;

- температура обрабатываемой (очищаемой) воды t , °C.

Задача исследований: на основе применения математических методов оптимального планирования эксперимента при проведении испытаний получить закономерности процессов очистки природных вод от нитратов на различных ионообменных смолах в виде экспериментально-статистических уравнений регрессии, отражающих эффективность работы установки в любом заданном режиме ведения процесса ионообменной очистки.

Для нахождения области оптимума был произведен экспериментальный поиск и затем в оптимальной области осуществлен ротатбельный план второго порядка, при котором факторы варьировались на пяти уровнях.

Результаты эксперимента, выполненного по матрице ротатбельного центрального композиционного планирования были обработаны на ЭВМ с помощью программы "STATGRAPHICS-statistical Graphics System", на основании чего составлены уравнения регрессии $\mathcal{Y} = f(V, H/d, t)$ в виде многочленов второй степени от трех переменных (в кодированных и физических переменных):

1) для анионита марки «Purolite NRW-600(OH)»

$$Y = 98,48 - 3,70X_1 + 6,23X_2 + 3,67X_3 + 6,02X_1X_2 - 0,21X_1X_3 - 0,21X_2X_3 - 12,89X_1^2 - 16,57X_2^2 - 11,27X_3^2; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{Y} = & 2,83 \cdot V + 8,84 \cdot H/d + 6,87 \cdot t + 0,14 \cdot V \cdot H/d - \\ & - 0,01 \cdot t \cdot H/d - 0,13 \cdot V^2 - 0,94 \left(H/d \right)^2 - 0,18 \cdot t^2 - 11,72, \%; \end{aligned} \quad (2)$$

2) для анионита марки «AB-17-8чС»

$$Y = 99,91 - 6,97X_1 - 3,22X_2 + 5,93X_3 + 4,80X_1X_2 + 0,76X_1X_3 + 0,64X_2X_3 - 15,79X_1^2 - 14,97X_2^2 - 16,76X_3^2; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{Y} = & 3,30 \cdot V + 5,66 \cdot H/d + 9,93 \cdot t + 0,11 \cdot V \cdot H/d + 0,01 \cdot V \cdot t + \\ & + 0,02 \cdot t \cdot H/d - 0,16 \cdot V^2 - 0,85 \cdot \left(H/d \right)^2 - 0,26 \cdot t^2 - 27,88, \%; \end{aligned} \quad (4)$$

3) для анионита марки «Lewatit MonoPlus® SR 7»

$$Y = 99,97 - 2,29X_1 + 3,07X_2 + 5,70X_3 + 7,47X_1X_2 + 0,61X_1X_3 + 0,61X_2X_3 - 14,66X_1^2 - 16,43X_2^2 - 14,08X_3^2; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{Y} = & 3,14 \cdot V + 7,05 \cdot H/d + 8,43 \cdot t + 0,12 \cdot V \cdot H/d + 0,01 \cdot V \cdot t + \\ & + 0,02 \cdot t \cdot H/d - 0,15 \cdot V^2 - 0,93 \cdot \left(H/d \right)^2 - 0,22 \cdot t^2 - 23,58, \%. \end{aligned} \quad (6)$$

Проверка воспроизводимости опытов осуществлялась с помощью критерия Кохрена (для опытов в центре плана $G_{\text{расч}}=0,530$; $G_{\text{табл}}=0,616$). Значимость коэффициентов регрессии определялась с учетом значения критерия Стьюдента ($t=2,57$ для доверительной вероятности $P=0,95$ и 5 степеней свободы). Адекватность зависимостей подтверждена по критерию Фишера при 5%-ном уровне значимости ($F_{\text{расч}}=3,80$, $F_{\text{табл}}=5,05$).

С помощью данных уравнений можно прогнозировать эффективность работы установки в любом заданном режиме ведения процесса ионообменной очистки.

Анализ выражений (2,4,6) по определению $\Xi_{\text{макс}} = 100\%$ в зависимости от V , t и H/d , выполненный с использованием свойства функции, имеющей экстремум (в точке экстремума первая производная функции равна нулю), позволил установить, что максимальный эффект удаления нитратов достигается при определенных значениях факторов $V=13$ м/ч, $t=18^\circ\text{C}$ и $H/d=5$ [5].

Заключение

1. После проведение трехфакторного рототабельного эксперимента и обработки его результатов были получены уравнения регрессии 2-го порядка, которые являются экспериментально-статистическими моделями процесса ионообменной очистки воды от нитратов, все коэффициенты регрессии уравнений значимы.

2. Установлены интервалы значений оптимальных параметров, при которых достигается наименьшая остаточная концентрация нитратов в обработанной воде, то есть наибольший эффект удаления нитратов: $H/d=5\div 8$, $t=10\div 18^\circ\text{C}$, $V=10\div 15$ м/ч.

3. Полученные экспериментально-статистические модели процесса ионообменной очистки позволяют представить поверхность отклика на факторной плоскости линиями зависимости остаточной концентрации нитратов от величины отношения высоты загрузки фильтрационной колонки к ее диаметру H/d , от температуры обрабатываемой воды t , от скорости фильтрации V .

Список использованных источников:

1. Дегтярев, Д.А. Пошаговая методика проведения многофакторного эксперимента. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://manyfactors.ru>. – Дата доступа: 07.01.2019.
2. Мухачёв, В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента: учеб.-метод. пособие / В.А. Мухачев. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.
3. Андреюк, С.В. Исследование методов физико-химической очистки природных вод от нитратов / С.В. Андреюк // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брест, 6–8 апреля 2016 г. : в 2-х ч. / УО «Брестский гос. технический ун-т.»; под ред. А.А. Волчека [и др.]. – Брест, 2016. – Ч. II. – С. 159–163.
4. Саутин, С.П. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. П. Саутин. – Л.: Химия, 1975. – 47 с.
5. Житенев, Б.Н. Исследование метода ионообменной очистки природных вод от нитратов / Б.Н. Житенев, С.В. Андреюк, М.А. Таратенкова // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых «Современные тенденции развития науки», Ровно, 12 мая 2016 г. / Национальный ун-т водного хоз-ва и природопользования. – Ровно, 2016. – С. 132–134.